الجزء الثالث

التمرين 25

1 - البولونيوم هو $_{84}Po$

يحتاج التمرين للمعلومة : $m_{He} = 4,0015u$

لدينا معادلة التفكك : $^{210}_{84}Po \rightarrow ^{206}_{82}Pb + ^{4}_{2}He$

2 – الطاقة المحررة : $E_{lib} = (m_i - m_f)c^2 = (209,98286 - 205,97445 - 4,0015)931,5 = 6,43MeV$

3 – لا ينتج فوتون معناه أن نواة الرصاص نتجت في حالتها المستقرة ، وبالتالي تكون الطاقة الحركية المعطاة للجسيم α هي :

$E_c = 6,43MeV$

4 – في هذه الحالة تكون الطاقة المقدمة للجسيم α $E_c' = 6,43 - 2,2 = 4,23MeV$ ، لأن القيمة $2,2MeV$ هي الطاقة المقدّمة لانبعاث الفوتون (طاقة إشعاعية) .

5 - المقصود هو السؤالان 3 و 4 ، وليس جـ و د .

المقصود في هذا التمرين أن هناك منبعا للبولونيوم يصدر الإشعاعات α ، بحيث تسقط هذه الإشعاعات على ورقة من الألمنيوم ، ويتمّ امتصاصها من طرف الورقة ، وبالتالي تكون الإشعاعات α قد قدّمت طاقة لورقة الألمنيوم ، وهي الطاقة الحركية التي اكتسبتها ، مع افتراض أن الفوتونات لا يتم امتصاصها من طرف الورقة .

هناك أنوية من الرصاص تنتج في حالتها المستقرة والبعض الآخر ينتج في حالة مثارة ، بحيث أن نسبتي الحالتين هي 50% ، وبالتالي تكون الطاقة التي تستقبلها ورقة الألمنيوم هي $E = \left(\frac{50}{100} \times 6,43 + \frac{50}{100} \times 4,23\right) \times 3 \times 10^{15} = 16 \times 10^{15}\, MeV$

حيث أن عدد الجسيمات α المنبعثة إلى ورقة الألمنيوم هو 3×10^{15} .

التمرين 26

في المعطيات نكتب : $1u = 1,66054 \times 10^{-27}kg = 931,5MeV / c^2$

1 – نحسب طاقة الربط لنواة النظير ^{127}I : نحوّل كتلة النظير لواحدة الكتل الذريّة ،

$$m_{^{127}I} = \frac{2,106831 \times 10^{-25}}{1,66054 \times 10^{-27}} = 126,87625u = 126,87625 \times 931,5MeV / c^2$$

$$E_l = (53 \times 1,00728 + 74 \times 1,00866 - 126,87625) \times 931,5 = 1071MeV$$

نحسب طاقة الربط لنواة النظير ^{131}I : نحوّل كتلة النظير لواحدة الكتل الذرية ،

$$m_{^{131}I} = \frac{2,17329\times10^{-25}}{1,66054\times10^{-27}} = 130,8785\,u = 130,8785\times931,5\,MeV/c^2$$

$$E'_l = (53\times1,00728 + 74\times1,00866 - 130,8785)\times931,5 = 1102\,MeV$$

2 – طاقة الربط لكل نوكليون : $\frac{E_l}{A} = \frac{1071,6}{127} = 8,44\,MeV$ ، $\frac{E'_l}{A} = \frac{1102}{131} = 8,41\,MeV$

3 - النظير الأكثر استقرارا هو النظير الذي يملك طاقة تماسك لكل نوية $\frac{E_l}{A}$ (نوكليون) أكبر ، وبالتالي ^{127}I هو الأكثر استقرارا .

التمرين 27

1 – معادلة التفاعل : $^7_3Li + ^1_1p \rightarrow 2\,^4_2He$

2 – ضياع الكتلة في هذا التفاعل : $m_i - m_f = 7,01435 + 1,00728 - 2\times4,0015 = 0,01863\,u$

3 – مبدأ انحفاظ الطاقة : نستغلّ هذه الفرصة لنوضح هذا المبدأ لكثرة الأسئلة حوله :

ليكن التحوّل النووي التالي سواء كان تلقائيا أو مفتعلا : $X_1 + X_2 \rightarrow X_3 + X_4$ ، حيث X أنوية أو جسيمات .

الطاقة المحفوظة في مثل هذه التفاعلات هي طاقة الكتلة mc^2 والطاقة الحركية للأنوية أو الجسيمات .

X_1 و X_2 يمكن أن يكونا في حركة أو أحدهما ساكن والآخر متحرّك (مثلا قذف نواة بواسطة نوترون) .

الطاقة محفوظة في التحول ، أي $m_1c^2 + E_{c1} + m_2c^2 + E_{c2} = m_3c^2 + E_{c3} + m_4c^2 + E_{c4}$

$[(m_1+m_2)-(m_3+m_4)]c^2 = (E_{c3}+E_{c4})-(E_{c1}+E_{c2})$ ، الرمز Δ معناه التغيّر ، أي القيمة الأخيرة ناقص الأولى .

$-\Delta mc^2 = \Delta E_c$ ، ومنه $\Delta mc^2 = -\Delta E_c$ (1)

- إذا كان $\Delta m > 0$ ، أي كتلة النواتج **أكبر** من كتلة المتفاعلات ، فهذا معناه حسب العلاقة (1) أن $\Delta E_c < 0$ ، وبالتالي في هذا التفاعل **تحوّلت الطاقة الحركية إلى طاقة كتلة** ، أو بقول آخر : الطاقة تحوّلت إلى كتلة حسب علاقة التكافؤ طاقة – كتلة .

هذا التفاعل مـــاص للحرارة

- إذا كان $\Delta m < 0$ ، أي كتلة النواتج **أصغر** من كتلة المتفاعلات ، فهذا معناه حسب العلاقة (1) أن $\Delta E_c > 0$ ، وبالتالي في هذا التفاعل **تحوّلت طاقة الكتلة إلى طاقة حركية** ، أو بقول آخر : الكتلة تحوّلت إلى طاقة حسب علاقة التكافؤ طاقة – كتلة .

هذا التفاعل يُحرّر الطاقة

هذه الحالة الأخيرة هي التي نصادفها عندما يُطلب منّا حساب الطاقة المحرّرة في تفاعل نووي .

العلاقة التي نطبّقها هي : $E_{lib} = (m_i - m_f)c^2$ (2)

لأن $m_i - m_f = -\Delta m$ ، أي أنه عندما يكون $m_i - m_f > 0$ يكون $\Delta m < 0$ (أي أن الطاقة تتحرّر) .

ملاحظة : يمكن أن نستعمل العلاقة $E_{lib} = \Delta mc^2$ ، في هذه الحالة نجد E_{lib} سالبة ، ونقول كذلك أن الطاقة تحررت ، لأن Δm ما زالت دائما سالبة .

نرجع للتمرين

لتكن : E_{c1} : الطاقة الحركية للبروتون

E_{c2} : الطاقة الحركية لنواة الليثيوم

$E_{c3} + E'_{c3}$: الطاقة الحركية للجسيمتين α

مبدأ انحفاظ الطاقة يُعطي : $m_{Li}c^2 + E_{c1} + m_p c^2 + E_{c2} = E_{c3} + E'_{c3} + 2\, m_{He} c^2$

$E_{c2} = 0$ ، حيث نعتبر أن نواة الليثيوم قُذفت وهي في حالة الراحة ، وبالتالي $\left(E_{c3} + E'_{c3} \right) = m_{Li} c^2 + m_p c^2 + E_{c1} - 2\, m_{He} c^2$

$$E_{c1} = 600\, keV = 6 \times 10^5 eV = 0,6\, MeV$$

$$\left(E_{c3} + E'_{c3} \right) = \left(m_{Li} + m_p - 2\, m_{He} \right) c^2 + E_{c1} = \left(7,01435 + 1,00728 - 2 \times 4,0015 \right) \times 931,5 + 0,6 = 17,95\, MeV$$

التمرين 28

1 - $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p$

2 - تغيّر الكتلة معناه $\Delta m = m_f - m_i$ ، وبالتالي :

$$\Delta m = m_O + m_p - m_N - m_{He} = 16,9947 + 1,00866 - 13,9992 - 4,0015 = 2,66 \times 10^{-3} u$$

3 – تغيّر الطاقة : إذا كان المقصود هو طاقة الجملة ، فإن طاقة الجملة لا تتغير (محفوظة) . أما إذا كان المقصود هو الطاقة الحركية التي تحوّلت إلى طاقة كتلة ، نجدها كما يلي :

E_1 : طاقة المتفاعلات ، حيث : $E_1 = E_{c1} + m_N c^2 + E_{c2} + m_{He} c^2$

E_2 : طـاقة النواتج ، حيث : $E_2 = E_{c3} + m_O c^2 + E_{c4} + m_p c^2$

التغير في طاقة الجملة هو $E_2 - E_1 = E_{c3} + m_O c^2 + E_{c4} + m_p c^2 - E_{c1} - m_N c^2 - E_{c2} - m_{He} c^2$

$$E_2 - E_1 = \left(E_{c4} + E_{c3} \right) - \left(E_{c2} + E_{c1} \right) + \left[\left(m_O + m_p \right) - \left(m_N + m_{He} \right) \right] c^2 = \Delta E_c + 2,66 \times 10^{-3} \times 931,5$$

ونعلم أن $E_2 - E_1 = 0$ لأن طاقة الجملة محفوظة ، وبالتالي : $\Delta E_c = -2,66 \times 10^{-3} \times 931,5 = -2,47\, MeV$

4 – في هذا التفاعل تحوّلت الطاقة الحركية للجسيمات α إلى طاقة كتلة ، والتي ظهرت في النواتج ، لأن كتلة النواتج أكبر من كتلة المتفاعلات ، أي $\Delta m > 0$.

التمرين 29

1 – معادلة التفكك $^{15}_{8}O \rightarrow ^{0}_{+1}e + ^{15}_{7}N$

2 - طاقة الربط للنواة E_l هي الطـاقة التي يجب صرفها لتفكيك مكونات النواة وبقاء هذه المكوّنات في حالة الراحة .

3 - حساب ΔE_1 : هي طاقة تماسك النواة $^{15}_{8}O$ ، أي الانتقال من النواة $^{15}_{8}O$ إلى مكوّنات هذه النواة .

$$\Delta E_1 = 7 \times 7,463 = 111,9\, MeV$$

الطاقة
$7p + 8n + ^{0}_{1}e$
ΔE_2
$8p + 7n$
ΔE_1
ΔE_3
^{15}O
ΔE
النواة الإبن + بوزيتون

4 - حساب ΔE_2 : هي الطاقة اللازمة للانتقال من (8 p + 7 n) إلى (7 n + 8 p + 1 e$^+$) ، أي الطاقة اللازمة ليتحوّل بروتون إلى نوترون حسب المعادلة : ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^{0}e$

$$\Delta E_2 = \left[\left(7m_p + 8m_n + m_e\right) - \left(8m_p + 7m_n\right)\right] \times c^2 = \left(m_n + m_e - m_p\right)c^2$$

$\Delta E_2 = [1,008665 + 0,000548 - 1,007276] \times 931,5 = 1,8\, MeV$ ، حيث الكتل مقاسة بـ u .

5 - استنتاج ΔE :

من المخطط لدينا : $\Delta E_3 = \Delta E - \Delta E_1 - \Delta E_2$ ، ومنه $\Delta E = \Delta E_3 + \Delta E_1 + \Delta E_2 = -115,5 + 111,9 + 1,8 = -1,8\, MeV$

التمرين 30

1 - يشمل منحنى أستون على التراتيب $-\frac{E_l}{A}$ وعلى الفواصل العدد الكتلي A .

الأنوية الموجودة على هذا المنحني هي أنوية طبيعية .

ملاحظة : مثّل أستون على التراتيب $-\frac{E_l}{A}$ وليس $\frac{E_l}{A}$ ، فقط لمشابهة الاستقرار النووي بالتوازن المستقر لجسم قابل للدوران حول محور (مثلا ساق معدنية متجانسة قابلة للدوران حول محور أفقي Δ يمر من إحدى نهايتيها) ، بحيث يكون الجسم في توازن مستقر عندما يكون مركز ثقله في أقرب نقطة لسطح الأرض .



الاستقرار يكون في M_0 وليس في M_1 .

كل الأجسام **تريد** أن يكون لها أصغر طاقة كامنة ثقالية لكي تستقر ، وبالتالي تحاول الاقتراب من سطح الأرض .



- منحنى أستون يقارن استقرار الأنوية فيما بينها .

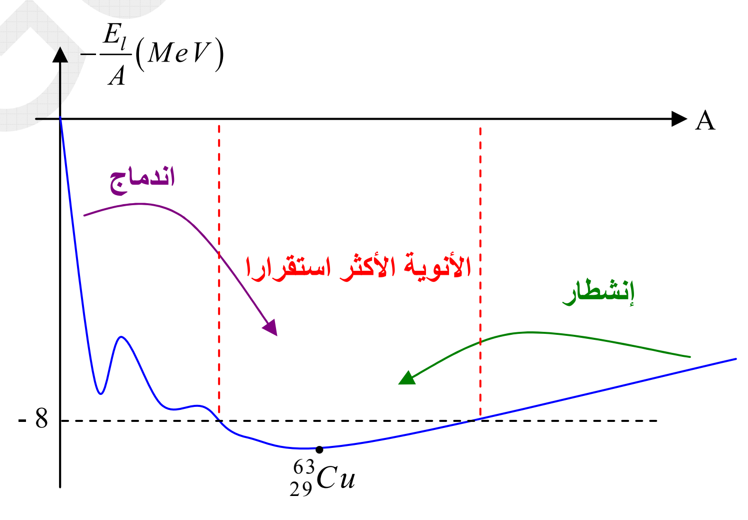
- طاقة الربط لكل نوية المتوسطة بين كل الأنوية هي حوالي 8 MeV .

2 – كان من الأحسن طرح السؤال بالصيغة التالية : أين تقع الأنوية **الأكثر** استقرار .

مثلا : الأنوية ${}_2^3He$ ، ${}_2^4He$ ، ${}_3^6Li$ ، ${}_4^9Be$ كلها تقع في وادي الاستقرار في مخطط سوقري ، وهي موجودة على منحني أستون وطاقة الربط لكل نوكليون فيها على الترتيب هي 2,56 MeV ، 7,07 MeV ، 5,33 MeV ، 6,46 MeV .

هذه القيم كلها توافق $-\frac{E_l}{A} > -8MeV$ ، أي $\frac{E_l}{A} < 8MeV$.

إذن الهدف من هذا المنحني هو مقارنة الاستقرار وليس الاستقرار وعدم الاستقرار .



3 – طاقات الربط لكل نوية :

$^{10}_{4}Be$: $$\frac{E_l}{A}=\frac{(4\times1,00728+6\times1,00866-10,01133)\times931,5}{10}=6,49\,MeV$$

$^{6}_{3}Li$: $$\frac{E_l}{A}=\frac{(3\times1,00728+3\times1,00866-6,01347)\times931,5}{6}=5,33\,MeV$$

$^{208}_{82}Pb$: $$\frac{E_l}{A}=\frac{(82\times1,00728+126\times1,00866-207,93162)\times931,5}{208}=7,86\,MeV$$

$^{60}_{28}Ni$: $$\frac{E_l}{A}=\frac{(28\times1,00728+32\times1,00866-59,91547)\times931,5}{60}=8,78\,MeV$$

$^{238}_{92}U$: $$\frac{E_l}{A}=\frac{(92\times1,00728+146\times1,00866-238,00018)\times931,5}{238}=7,57\,MeV$$

4 -

Li Be U Pb Ni

استقرار متزايد ⟶

التمرين 31

$$^{235}_{92}U+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{139}_{53}I+{}^{94}_{39}Y+3\,{}^{1}_{0}n$$

1 – الطـاقة المحرّرة : $E_{lib}=(m_i-m_f)c^2$

$$m_i=234,99332+1,00866=236,00198u$$

$$m_f=138,897+93,89014+3\times1,00866=235,81312u$$

$$E_{lib}=(236,00198-235,81312)\times931,5=175,8\,MeV$$

2 – التفاعل التسلسلي :

عند قذف نواة اليورانيوم بواسطة نوترون تنتج أنوية أخف ، ويتحرّر عادة 2 نوترون أو 3 نوترونات ، حيث بإمكان هذه النوترونات أن تصدم أنوية أخرى من اليورانيوم ، ثم تتحرر نوترونات أخرى وتتواصل هكذا العملية ، لذا يسمى التفاعل تفاعلا تسلسليا .

3 – حوالي 85 % من الطاقة المحرّرة تذهب على شكل طاقة حركية مجهرية تُعطى لأنوية اليورانيوم والنواتج . أما 15 % من الطاقة المحرّرة تصدر على شكل طاقة كهرومغناطيسية (طاقة إشعاعية) .

4 – عدد الأنوية في 1 kg من اليورانيوم : $N=N_A\dfrac{m}{M}=6,023\times10^{23}\times\dfrac{1000}{235}=2,56\times10^{24}$

الطاقة المحرّرة من 1 kg هي :

$$E_{lib_{(T)}}=E_{lib}\times N=2,56\times10^{24}\times175,8=4,5\times10^{26}\,MeV=7,21\times10^{13}J=72\times10^{6}MJ$$

لأن : $1MeV=1,602\times10^{-13}J$ و $1MJ=10^{6}J$

5 - كتلة البترول المطلوبة : 1 kg يحرّر 42 MJ ، وبالتالي الطاقة 72×10^{6} MJ تنتج عن كتلة قدرها (بالقاعدة الثلاثية) :

$$m=\frac{72\times10^{6}}{42}=1,71\times10^{6}\,kg=1771\,t$$

التمرين 32

$${}_{1}^{2}H+{}_{1}^{3}H\rightarrow{}_{2}^{4}He+{}_{0}^{1}n$$

1 – الطاقة المحرّرة : $E_{lib}=\left(m_i-m_f\right)c^2=\left(2,0136+3,0155-4,0015-1,00866\right)\times931,5=17,64\,MeV$

2 – تظهر الطاقة المحررة على شكل طاقة حركية في النواتج وطاقة إشعاعية .

3 - $m\left({}_{1}^{2}H+{}_{1}^{3}H\right)=2,0136\times1,66\times10^{-27}+3,0155\times10^{-27}=8,35\times10^{-27}\,kg$

يمكن مباشرة تطبيق القاعدة الثلاثية :

$$8,35\times10^{-27}\,kg\rightarrow\ 17,64\,MeV$$
$$1\,kg\rightarrow\ E$$

ومنه : $E=\dfrac{17,64}{8,35}\times10^{27}=2,11\times10^{27}\,MeV=2,11\times10^{27}\times1,602\times10^{-13}=3,38\times10^{14}\,J=3,38\times10^{8}\,MJ$

4 - كتلة البترول المطلوبة :

$$1\,kg\ \rightarrow\ 42\,MJ$$
$$m\ \rightarrow\ 3,38\times10^{8}\,MJ$$

ومنه : $m=\dfrac{8,38\times10^{8}}{42}=2\times10^{7}\,kg=20000\,t$

5 - رأينا في التمرين 31 في السؤال الرابع أن الطاقة المحرّرة من 1 kg من اليورانيوم 235 هي $72\times10^{6}\,MJ$ ، أما الطاقة المحرّرة هنا عن 1 kg من $\left({}_{1}^{2}H+{}_{1}^{3}H\right)$ هي حوالي $3,4\times10^{8}\,MJ$ ، وهي أكبر بحوالي 5 أضعاف من الأولى .

الطاقة المحرّرة في الاندماج أكبر من الطاقة المحرّرة في الإنشطار عموما .

التمرين 33

تصحيح : $m\left({}_{2}^{3}He\right)=3,01493\,u$

1 – طاقة الربط لكل نوية

${}_{2}^{3}He$: $\dfrac{E_l}{A}=\dfrac{\left(2\times1,00728+1\times1,00866-3,01493\right)\times931,5}{3}=2,57\,MeV$

${}_{2}^{4}He$: $\dfrac{E_l}{A}=\dfrac{\left(2\times1,00728+2\times1,00866-4,0015\right)\times931,5}{4}=7,07\,MeV$

الهيليوم 4 أكثر استقرارا من الهيليوم 3 لأن طاقة الارتباط لكل نوية بالنسبة للأول أكبر من الثاني .

دليل آخر خارج عن التمرين :

انبعاث α $\left({}_{2}^{4}He\right)$ في التفككات التلقائية وعدم انبعاث ${}_{2}^{3}He$ دليل على لأن ${}_{2}^{4}He$ أكثر إستقرارا من ${}_{2}^{3}He$.

2 - معادلة التفاعل الناتج : ${}_{2}^{3}He+{}_{2}^{3}He\rightarrow{}_{2}^{4}He+2{}_{1}^{1}H$

3 - الطاقة المحرّرة : $E_{lib}=\left(m_i-m_f\right)c^2=\left(2\times3,01493-4,0015-2\times1,00728\right)\times931,5=12,85\,MeV$

نحسب عدد الأنوية في 1 t من الهيليوم 3 : $N=N_A\times\dfrac{m}{M}=6,023\times10^{23}\times\dfrac{10^6}{3}=2\times10^{29}$

4 - الطاقة المحرّرة من $1\,t$ هي : $E'_{lib}=\dfrac{2\times10^{29}}{2}\times12,85\approx1,3\times10^{30}\,MeV$

المقصود بالطاقة المسترجعة الطاقة التي نلتقطها ، أي الطاقة المحرّرة .

التمرين 34

$${}_1^2H+{}_1^3H\rightarrow{}_2^4He+{}_0^1n$$

-1 الطاقة المحرّرة : $E_{lib}=\left(m_i-m_f\right)c^2=\left(2,0136+3,0155-4,0015-1,00866\right)\times931,5=17,64\,MeV$

2 - 17,64 MeV هي الطاقة المحرّرة عندما تتشكل نواة واحدة من الهيليوم .

نواة واحدة من الهليوم كتلتها $m=4,0015\times1,66\times10^{-24}=6,64\times10^{-24}\,g$

$$6,64\times10^{-24}\,g\ \rightarrow\ 17,64\,MeV$$
$$1\,g\ \rightarrow\ E'_{lib}$$

ومنه : $E'_{lib}=\dfrac{1\times17,64}{6,64\times10^{-24}}=2,65\times10^{24}\,MeV$

3 – الطاقة المحرّرة من الشمس هي : $E=P\,t=3,9\times10^{26}\times1=3,9\times10^{26}\,J$

هذه الطاقة تكافيء كتلة m ، حيث $m=\dfrac{E}{c^2}=\dfrac{3,9\times10^{26}}{9\times10^{16}}=4,3\times10^{9}\,kg$

4 – خلال ثانية واحدة (1s) تفقد الشمس كتلة قدرها $m=4,3\times10^{9}\,kg$

خلال $4,6\times10^{9}\times365\times24\times3600=1,45\times10^{17}\,s$ تفقد الشمس كتلة قدرها m'

$$m'=1,45\times10^{17}\times4,3\times10^{9}=6,23\times10^{26}\,kg$$

5 –

$$2\times10^{30}\,kg\ \rightarrow\ 100\%$$
$$6,23\times10^{26}\,kg\ \rightarrow\ x$$

وبالتالي $x=\dfrac{6,23\times10^{26}\times100}{2\times10^{30}}=0,03\%$

التمرين 35

1 - ${}_{92}^{235}U+{}_0^1n\rightarrow{}_x^{94}Sr+{}_{54}^{139}Xe+y\,{}_0^1n$

$$236=94+139+y\ \Rightarrow\ y=3$$
$$92=x+54\ \Rightarrow\ x=38$$

2 – الطاقة المحرّرة :

$$E_{lib}=\left(m_i-m_f\right)c^2=\left(234,99345+1,00866-93,89451-138,88917-3\times1,00866\right)\times931,5=179\,MeV$$

3 – عندما يتم استخراج اليورانيوم من باطن الأرض ، نجد في عينة النظير 238 بنسبة عالية جدا أما اليورانيوم 235 لا يتعدّى في العيّنة النسبة 0,7% .

تخصيب اليورانيوم معناه رفع نسبة النظير 235 في العينة .

يتم التخصيب بواسطة أجهزة الطرد المركزي المستعملة في هذا المجال ، حيث يتم إيصال نسبة النظير 235 إلى حوالي 5% بالنسبة للمجال السلمي ، وتصل النسبة إلى حوالي 90% بالنسبة للمجال العسكري (صناعة الأسلحة النووية) .

هذا ما يحدث حاليا في المفاعلات النووية للجمهورية الإسلامية الإيرانية حسب ما يقوله الدكتور البرادعي .

نحسب كمية النظير 235 في 1 g من اليورانيوم المخصّب : $m = \dfrac{1\times 3,7}{100} = 0,037\,g$

عدد أنوية النظير 235 في هذه العينة : $N = 6,023\times10^{23}\times\dfrac{0,037}{235} = 9,5\times10^{19}$

الطاقة المحرّرة هي $E'_{lib} = 9,5\times10^{19}\times179 = 17\times10^{21}\,MeV$

4 – نحسب الطاقة المحوّلة إلى كهرباء سنويا : $E = P\,t = 900\times10^{6}\times365\times24\times3600 = 2,8\times10^{16}\,J$

نحسب كمية النظير 235 في 27 طن ($27\,t$) من اليورانيوم المخصّب : $m = \dfrac{27\times10^{6}\times3,7}{100} = 10^{6}\,g$

نحسب عدد الأنوية في هذه الكمية : $N = 6,023\times10^{23}\,\dfrac{10^{6}}{235} = 2,5\times10^{27}$

نحسب الطاقة المحررة من استهلاك $27\,t$ من اليورانيوم المخصب (أي $1\,t$ من النظير 235) :

$$E' = 2,56\times10^{27}\times179 = 4,58\times10^{29}\,MeV = 7,34\times10^{16}\,J$$

المردود هو النسبة بين الطاقة المحوّلة إلى كهرباء والطاقة المحرّرة : $\eta = \dfrac{E}{E'} = \dfrac{2,8\times10^{16}}{7,34\times10^{16}} = 0,38$

المردود هو 38%

التمرين 36

1 – القانونان هما : انحفاظ عدد النوكليونات وانحفاظ الشحنة الكهربائية .

2 – البوزيتون جسيم له نفس كتلة الإلكترون (0,000548 u) وشحنة كهربائية مماثلة لشحنة البروتون .

يتحرّر البوزيتون عندما يتحول بروتون إلى نوترون .

3 -

$$\left({}_{1}^{1}H + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{1}^{2}H + {}_{1}^{0}e\right)\times 2$$

$$\left({}_{1}^{2}H + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{3}He\right)\times 2$$

$${}_{2}^{3}He + {}_{2}^{3}He \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\,{}_{1}^{1}H$$

ضربنا المعادلة الثانية في 2 لتحقيق نواتين من ${}_{2}^{3}He$ لأن المعادلة الثالثة تحتاج نواتين ، وضربنا المعادلة الأولى في 2 لتحقيق نواتين من ${}_{1}^{2}H$ ، لأن في المعادلة الثانية أصبح عدد هذه الأنوية إثنان بعد ضربها في 2 .

- نجمع المعادلات الثلاثة ونختصر من الطرفين فنجد الحصيلة الكلية لهذه الدورة : $4\,{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\,{}_{1}^{0}e$

- الطاقة المحرّرة في هذه الدورة $E_{lib} = \left(m_i - m_f\right)c^2 = \left(4\times1,0073 - 4,0015 - 2\times0,000548\right)\times931,5 = 24,8\,MeV$

- 4

أ)

$${}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N$$

$${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{1}e$$

$${}^{13}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{14}_{7}N$$

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{15}_{8}O$$

$${}^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}N + {}^{0}_{1}e$$

$${}^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He$$

ب) بجمع هذه المعادلات كما هي طرفا لطرف والقيام بالاختصارات نجد الحصيلة الكليّة للدورة : $4{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2{}^{0}_{1}e$

تسمى هذه الدورة دورة (Bethe – von Weizsäcker)